Petrographie, Stoßwellenmetamorphose und Entstehung polymikter kristalliner Breccien im Nördlinger Ries

Dissertation
zur
Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften

dem Fachbereich Erdwissenschaften
der
Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Manutschehr Abadian
aus Kerman/Iran

1971

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547609_0080

Petrographie, Stoßwellenmetamorphose und Entstehung polymikter kristalliner Breccien im Nördlinger Ries

Dissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doktors

der Naturwissenschaften

dem Fachbereich Erdwissenschaften

der

Eberhard-Karls-Universität

zu Tübingen

vorgelegt von

Manutschehr Abadian

aus Kerman/Iran

1971

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Tag der mündlichen Prüfung: 16.7.1971

Dekan: Professor Dr. F. Westphal
1. Berichterstatter: Professor Dr. W. v. Engelhardt
2. Berichterstatter: Professor Dr. W. Weiskirchner

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. Einleitung 1

II. Vorkommen und Verbreitung polymikter kristalliner Breccien 2

1. Leopold-Meyers-Keller 3
2. Itzing 4
3. Appetshofen + Lierheim 4

III. Petrographische Zusammensetzung der Gesteinsarten in den polymikten kristallinen Breccien 5

1. Hornblende-dioritisch-quarzdioritische-Gesteine 5
2. Hornblende-gabbroid-dioritische-Gesteine 6
3. Biotit-dioritische-Gesteine 6
4. Biotit-quarzdioritische-Gesteine 7
5. Granitisch-granodioritische-Gesteine 7

IV. Stoßwelleneffekte in den Mineralien der Breccien 9

1. Quarz 11
2. Plagioklas 11
3. Biotit 11
4. Hornblende 13
5. Apatit 15
6. Titanit 15
7. Granat 18

V. Stoßwellenmetamorphose der verschiedenen Gesteinsarten der Breccie 18

VI. Gangförmige Vorkommen kristalliner Breccien 21

VII. Mineralneubildung und -verdrängung in Gesteinen der Breccie 24

VIII. Diskussion 29

IX. Literaturverzeichnis 34

I. Einleitung

Seit dem vergangenen Jahrhundert hatten sich GUMBEL (1870), OBERDORFER (1905), LÖFFLER (1912), NATHAN (1926, 1935) und ACKERMANN (1958) mit "Kristallinen Auswurfmassen" des Ries befaßt und diese geologisch-petrographisch und chemisch untersucht. Sie konnten jedoch keine eindeutigen Kriterien für die Entstehung dieser Auswurfmassen finden.

Im Zuge einer geologischen Neukartierung des Kristallins (DRESSLER 1967, MATZKE 1967, GRAUP 1968) wurden genauere Ergebnisse über die petrographische Zusammensetzung und Verbreitung der kristallinen Auswurfmassen im Ries und Vorries erarbeitet. Jedoch ist über den Grad der Stoßwellenbeanspruchung der kristallinen Auswurfmassen bisher nur wenig bekannt.

Nach der Beschaffenheit und Zusammensetzung sowie dem Grad der Stoßwellenbeanspruchung (ausführliche Darstellung mit Literaturverzeichnis s. v.ENGELHARDT et al. 1969) werden die kristallinen Auswurfmassen in zwei Gruppen unterteilt:

a) Monomikte Breccien und allochthone Kristallinschollen. Sie sind mehr oder weniger stark zerklüftet bzw. brecciert und zeigen fast keine Stoßwellenbeanspruchung. Ihre Ausdehnung liegt zwischen zehn und einigen hundert Metern. Die wichtigsten Vorkommen sind im Bereich des kristallinen Walls, des morphologischen Riesrandes sowie außerhalb des Riesrandes (REICH und HORRIX 1955, BENTZ 1927, GRAUP 1971).

b) Polymikte kristalline Breccien. Sie bestehen aus einem Gemenge eckiger bis gerundeter Gesteinsfragmente verschiedenartigen kristallinen Grundgebirges, die in eine feinkörnige Grundmasse desselben Gesteinsmaterials eingebettet sind. Im Gegensatz zu den Kristallinschollen und monomikten Breccien führen sie Gesteinsfragmente mit eindeutiger Stoßwellenmetamorphose.

Die vorliegende Arbeit hat die quantitative Erfassung des Gesteinsbestandes und des Grades der Stoßwellenmetamorphose sowie die Genese der polymikten Kristallinbreccien zum Ziel.

II. Vorkommen und Verbreitung polymikter kristalliner Breccien

Die Vorkommen kristalliner Auswurfmassen sind im wesentlichen auf das Riesinnere, nämlich auf den Bereich des kristallinen Walls und der Schollenzone, sowie auf den Riesrand beschränkt. Im Vorries verteilen sich die kristallinen Auswurfmassen hauptsächlich auf zwei Gebietsstreifen, welche strahlenartig von Appetshofen aus nach E (Itzing) und nach S (Bissingen) verlaufen (Abb. 1).

Die kristallinen Auswurfmassen beinhalten:
a) allochthone Kristallinschollen,
b) monomikte Kristallinbreccien,
c) polymikte kristalline Breccien.

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten polymikten kristallinen Breccien kann man an Hand der Aufschlüsse in drei verschiedene Typen unterteilen.

Typ 1: Komplexe, die als isolierte "Spritzer" auftreten und die in ihrem Gesteinsbestand keinen Zusammenhang mit ihrer Umgebung im Aufschlußbereich erkennen lassen (Leopold-Meyers-Keller).

Typ 2: Vorkommen, die in ihrem Gesteinsbestand eine starke Verwandtschaft mit den benachbarten homogenen kristallinen Schollen aufweisen. Diese Vorkommen finden sich in den etwa einheitlich granitisch zusammengesetzten Gebietsstreifen (vgl. GRAUP 1971) (Appetshofen + Lierheim, Itzing).

Typ 3: Breccien, die gangförmig kristalline Schollen durchsetzen (Maihingen-Klostermühle).

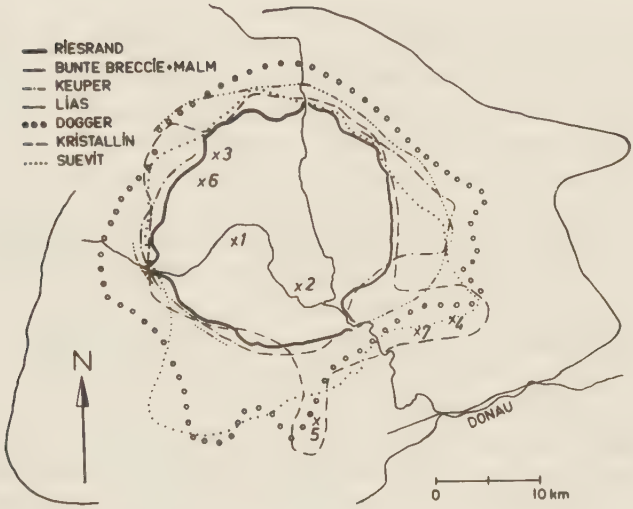


Abbildung 1: Verbreitungsgrenzen der verschiedenen Auswurfmassen des Rieskraters nach SCHNEIDER (1969).
1: Leopold-Meyers-Keller, 2: Appetshofen,
3: Maihingen-Klostermühle, 4: Itzing,
5: Bissingen, 6: Lehberg, 7: Sulzdorf.

Die Anzahl der Aufschlüsse der polymikten kristallinen Breccien ist leider sehr begrenzt. Im folgenden werden die untersuchten Aufschlüsse beschrieben.

1. Leopold-Meyers-Keller (R 3609955, H 5412520).
Am Galgenberg, dem südlichen Stadtrand von Nördlingen, liegt ein großer Aufschluß. Im Vergleich zu dem Aufschluß von Itzing sind die Gesteine stärker verwittert. Die Unterlage bildet hier ebenso die Bunte Breccie, wobei diese

überwiegend aus dem Keupermaterial besteht. Eine kleine Scholle von Keupersandstein ist an dem östlichen Aufschlußrand zu beobachten. Über der polymikten kristallinen Breccie ist zum Teil Süßwasserkalk aufgeschlossen.

2. Itzing (R 4413470, H 5409080).
Im östlichen Vorries bietet der große Bruch von Itzing, am Sportplatz gelegen, den zur Zeit besten und größten Aufschluß der polymikten kristallinen Breccie des Rieses. Die Breccie besteht aus einem Gemenge eckiger bis abgerundeter Bruchstücke von verschiedenen kristallinen Gesteinen. Die Größe der Gesteinsfragmente variiert im allgemeinen zwischen einigen Zentimetern und einigen Dezimetern (maximale Größe ca. 1 Meter). Die Unterlage der polymikten Breccie bildet hier, wie fast bei allen anderen Vorkommen, die Bunte Breccie, die am Eingang des Bruches (im Süden) deutlich zutage tritt.

3. Appetshofen + Lierheim (R 4398460, H 5409540).
   a) 500 m SE' von Appetshofen zeigt ein Aufschluß polymikte kristalline Breccie im Verband mit stark zerrüttetem Lierheimer-Granit. Die Grenze zwischen Breccie und Lierheimer-Granit streicht ~N 175° E. Die Aufschlußverhältnisse sind hier als sehr schlecht zu bezeichnen, da der Aufschluß als Schutthalde benutzt wird.
   b) Am Lierheimer Schloßberg (750 m südlich Appetshofen) zeigt ein durch einen Straßenabschnitt entstandener Aufschluß ebenso polymikte kristalline Breccie im Verband mit stark brecciertem Lierheimer-Granit.

Grundsätzlich kann man über die statistische Verteilung und die Größe der Gesteinsfragmente der drei beschriebenen Aufschlüsse sagen, daß dort, wo bestimmte Gesteinsarten statistisch überwiegen, ihre Gesteinsfragmente deutlich größer sind, z.B. in Leopold-Meyers-Keller überwiegen die Amphibolite

und ihre Bruchstücke sind deutlich größer als die der anderen Gesteine, während in Appetshofen + Lierheim die Granite vorherrschen und ihre Fragmente deutlich größer sind als die der anderen Gesteine.

Das gangförmige Vorkommen von Maihingen-Klostermühle (Typ 3) sowie ähnliche Vorkommen gangförmiger Breccien anderer Entstehung und Zusammensetzung von Sulzdorf und Lehberg werden im Abschnitt VI (S.22) beschrieben.

III. Petrographische Zusammensetzung der Gesteinsarten in den polymikten kristallinen Breccien

Bei der Bestandsaufnahme der kristallinen Gesteine im Ries sind bis jetzt nach Mineralbestand und Gefüge ca. 30 Gesteinsarten beschrieben worden. Da metamorphe Gefüge oft nur an relativ großen Fragmenten eindeutig erkannt werden können, erschien es sinnvoll, die Gesteine auf der Grundlage der Klassifizierung der Plutonite nach STRECKEISEN (1967) nach ihrem Modalbestand einzuteilen, ohne zunächst Rücksicht auf plutonische oder metamorphe Herkunft zu nehmen. Für eine statistische Bestandsaufnahme wurden in jedem Aufschluß Proben aus mehreren Horizontal- und Vertikalprofilen entnommen. Insgesamt wurden über vierhundert Dünnschliffe untersucht. Die in den Breccien beobachteten Gesteinsarten können in folgende fünf Gruppen eingeteilt werden:

1. Hornblende-dioritisch-quarzdioritische-Gesteine (Symbol Aq)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{35-42\%}$)	Hornblende	Quarz	Biotit
45-60 %	20-45 %	5-20 %	2-10 %

Sehr oft ist zu beobachten, daß der Biotit ein Umwandlungsprodukt der Hornblende ist.

2. Hornblende-gabbroid-dioritische-Gesteine (Symbol A)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{35-56\%}$)	Hornblende	Quarz	Biotit
37-55 %	43-60 %	<1-5 %	<1-3 %

Die Gesteine der Gruppen A und Aq kommen in fast allen Aufschlüssen der polymikten kristallinen Breccien gemeinsam und in ähnlicher Menge vor (s. Tab. 1) wie auch DRESSLER (1967), GRAUP (1968) und MATZKE (1967) beobachteten. Ebenfalls scheinen beide Gesteinsgruppen etwa denselben Grad der Stoßwellenbeanspruchung erlitten zu haben (s. Tab. 3). Die Gesteine beider Gruppen sind Metamorphite und daher als Amphibolite zu bezeichnen.
Die Amphibolite kommen in allen Übergängen, von fein- über mittel- bis grobkörnig mit heller bis dunkel-grünschwarzer Farbe vor. Auf Grund des Gefüges trifft GRAUP (1968) weitere Unterteilungen: massige Amphibolite, gebänderte Amphibolite und fleckige Amphibolite, die mit Sicherheit genetisch sehr eng miteinander verbunden sind.

3. Biotit-dioritische-Gesteine (Symbol D)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{30-42\%}$)	Quarz	Biotit	Orthoklas
55-72 %	<10%	16-28%	<5 %

Von den von GRAUP (1968), DRESSLER (1967) und MATZKE (1967) beschriebenen Gesteinsarten bilden dioritische Gneise (Parablastomylonitgneis, Biotit-Plagioklasgneis) den Hauptanteil, Biotit-Diorite einen kleineren Teil dieser Gruppe.

4. Biotit-quarzdioritische-Gesteine (Symbol Dq)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{23-36\%}$)	Quarz	Biotit	Orthoklas
45-60 %	25-50 %	5-20 %	< 5 %

Zu den Gesteinen der Gruppe Dq gehören die von DRESSLER et al. (1969) ausführlich beschriebenen Typen: Quarz-Biotit-Diorit, Biotit-Plagioklas-Bändergneis, Biotit-Plagioklas-Zeilengneis.

5. Granitisch-granodioritische-Gesteine (Symbol G)

Modaler Mineralbestand:

Plagioklas ($An_{20-35\%}$)	Quarz	Orthoklas	Biotit
20-49 %	20-34 %	15-36 %	4-15 %

Zu den Gesteinen der Gruppe G gehören folgende von DRESSLER et al. (1969) beschriebenen Gesteinstypen: Granite, Granodiorit, Redwizit, Titanitfleckendiorit.

Selten findet man in den polymikten kristallinen Breccien echte Zweiglimmergranite. So wurde im biotitführenden Lierheimer-Granit oft in geringen Mengen primärer Muskovit beobachtet. GRAUP (1968) beschreibt einen einzigen Zweiglimmergranit aus Tiefental (Albuck). Häufig kommt Muskowit als sekundäre Bildung aus Feldspäten vor. Die von MATZKE (1967) beschriebenen Muskowit führenden Granite dürften hauptsächlich zu diesem Typ gehören. GRAUP (1968), DRESSLER (1967) und MATZKE (1967) unterscheiden nach Korngröße, Biotitgehalt und Gefüge von Lesesteinen die folgenden neun Granittypen:

1. Porphyrischer Biotitgranit
2. Grobkörniger Biotitgranit
3. Übergang zwischen porphyrischem und grobkörnigem Biotitgranit
4. Zweiglimmergranit

5. Mittelkörniger biotitarmer Granit-Aplitgranit
6. Feinkörniger - kleinkörniger Biotitgranit
7. Feinkörniger - kleinkörniger biotitarmer Granit-Aplitgranit
8. Feinkörniger Ganggranit
9. Flasergranit.

Mit großer Wahrscheinlichkeit gehören alle diese Granitvarietäten einem plutonischen Körper an. Aus der Tabelle 3 ist zu entnehmen, daß alle Gesteine der Gruppe G eine nur geringe Stoßwellenbeanspruchung zeigen. Dies bedeutet, daß sie einem räumlich relativ eng begrenzten Bereich des Krateruntergrundes entstammen. Es ist nicht anzunehmen, daß in einem solchen Bereich genetisch verschiedene Granitplutone vorkommen.

Die Häufigkeit der beschriebenen Gesteinsarten in den verschiedenen Aufschlüssen ist in der Tab. 1 verzeichnet.

Gest.Gr.	L.-Meyers-Keller	Appetshofen + Lierheim	Maihingen-Klostermühle	Itzing
A	33	4	18	25
Aq	18	-	6	6
D	8	15	46	19
Dq	25	30	12	27
G	16	51	18	23
(Gesamtzahl der untersuchten Proben)	(136)	(87)	(76)	(102)

Tabelle 1: Häufigkeit der verschiedenen kristallinen Gesteinstypen in polymikten Breccien (Stückzahlprozente).

Die Stückzahlprozente sagen nichts über die Volumenanteile der verschiedenen Gesteinstypen aus. In Abb. 2 ist die Verteilung der Hauptgesteinstypen (A + Aq, D + Dq, G) in den Aufschlüssen dargestellt.

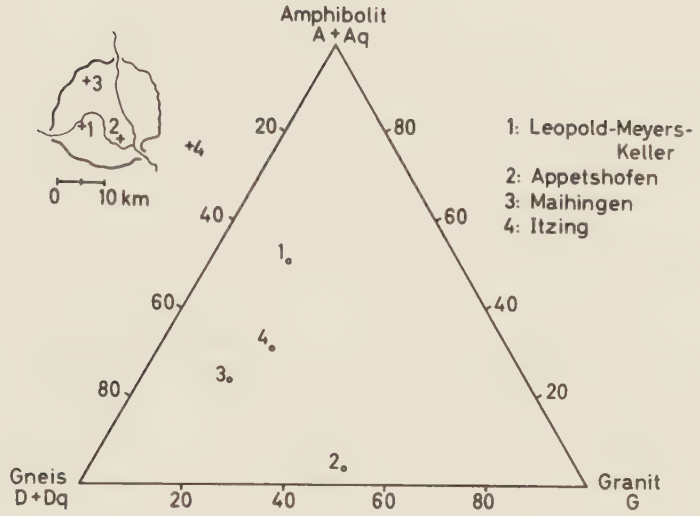


Abbildung 2: Die Verteilung der Gesteinstypen in verschiedenen polymikten Breccien.

IV. Stoßwelleneffekte in den Mineralien der Breccien

Die Fragmente des kristallinen Grundgebirges in den Breccien des Ries können auf Grund ihres Beanspruchungsgrades den in Tabelle 2 dargestellten Stufen einer progressiven Stoßwellenmetamorphose zugeordnet werden, welche durch Deformationen und Umwandlungen von Quarz und Feldspat charakterisiert sind (STÖFFLER 1966, ENGELHARDT et al. 1969, STÖFFLER 1971).

Im folgenden werden die unter dem Mikroskop beobachteten Erscheinungen in den Mineralien der stoßwellenbeanspruchten Gesteine der polymikten Breccien beschrieben.

Tabelle 2: Druck- und Temperaturgrenzen sowie petrographische Kennzeichen der Stufen der progressiven Stoßwellenmetamorphose quarz- und feldspatführender Kristallingesteine (nach STÖFFLER 1969, 1971)

Stufe	Druck in der Stoßfront in kbar	Resttemperatur nach der Druckentlastung in °C	Kennzeichen der Stoßwellenmetamorphose an Hand der Indikatorminerale Quarz und Feldspat	Erscheinungsform des Gesteins im Krater auswurf
0			Kataklastisch zerbrochene Kristalle (unregelmäßige Bruchflächen)	Primärgefüge erhalten
	~ 100	~ 100		
I			Diaplektische Kristalle. Stishovit in Quarz	Primärgefüge erhalten, starke Kataklase
	~ 350	~ 300		
II			Diaplektische Gläser. Coesit und Stishovit in diaplektischem Quarzglas	Primärgefüge erhalten
	~ 500	~ 900		
III			Normales Feldspatglas mit Blasen und Fließstrukturen. Diaplektisches Quarzglas	Primärgefüge durch partielle Schmelzur teilweise verwischt
	~ 600	~ 1500		
IV			Totale Aufschmelzung aller Mineralphasen und Vermischung der Schmelzen	Primärgefüge völlig zerstört, aerodynamisch geformte Glas bomben
	~ 1000	~ 5000		
V			Verdampfung	

1. Quarz

Die Quarzkörner schwächer beanspruchter Gesteine zeigen in Scharen auftretende ebene Diskontinuitäten. Diese sind niedrig indizierten Ebenen des Quarzgitters parallel: nach $(10\bar{1}3)$, $(10\bar{1}2)$, $(10\bar{1}1)$. ENGELHARDT und BERTSCH (1969) bezeichnen diese flächenhaften Strukturen als "planare Elemente" (Abb. 3). Von den Arten planarer Elemente, die ENGELHARDT und BERTSCH (1969) in den Quarzen aus kristallinen Einschlüssen des Suevit unterschieden (dekorierte planare Elemente, glatte planare Elemente, homogene Lamellen, gefüllte Lamellen (hochlichtbrechend), ebene Brüche), kommen in den polymikten kristallinen Breccien alle Typen bis auf die dekorierten vor. In Quarz mit homogenen oder gefüllten Lamellen von Appetshofen hat STÖFFLER (1971a) Stishovit nachgewiesen. In stärker beanspruchten Gesteinsfragmenten liegt Quarz als diaplektisches Glas vor, welches im allgemeinen Coesit enthält (STÖFFLER 1971a).

2. Plagioklas

Die Plagioklase der Gesteine in den polymikten kristallinen Breccien zeigen mit zunehmender Stoßwellenbeanspruchung Deformations- und Umwandlungserscheinungen. In schwächer beanspruchten Fragmenten sind die Plagioklase zerbrochen. Die Plagioklase stärker beanspruchter Gesteine sind teilweise isotropisiert und zeigen unter dem Mikroskop mehrere Systeme von Scharen paralleler dünner Lamellen, wie sie für die plastische Stoßwellendeformation typisch sind. Die Lamellen zeigen erniedrigte Lichtbrechung und sind schwach doppelbrechend oder isotrop (Abb. 4). Der stärkste Grad der in den Breccien vorkommenden Stoßwellenmetamorphose wird durch vollständig isotropisierte Plagioklase (diaplektisches Plagioklasglas) angezeigt.

3. Biotit

Nach dem Grad der Stoßwellenbeanspruchung konnten in Biotiten folgende Veränderungen beobachtet werden:

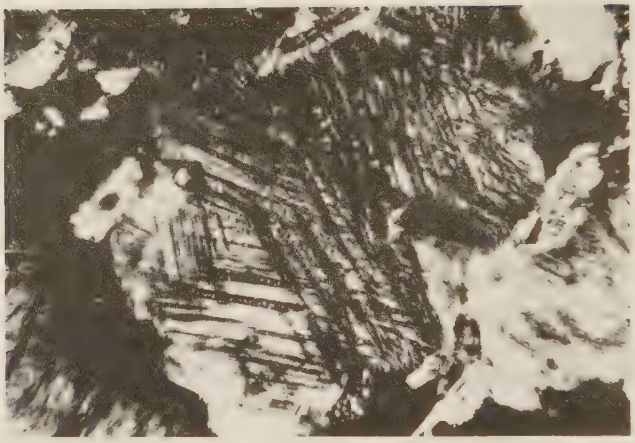


Abbildung 3: Nicht-dekorierte planare Elemente und gefüllte Lamellen im Quarz aus einem Graniteinschluß (P 933) in der Breccie von Lierheim.

Abbildung 4: Planare Elemente, isotrope Lamellen und partielle Isotropisierung in Andesin aus einem Amphibolit-Einschluß (P 893) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller.

a) Deformation durch Knickbänder (Abb. 5), deren Entstehung durch Stoßwellen ausführlich von HÖRZ und AHRENS (1968) diskutiert und beschrieben wurde. Die Anzahl der Knickbänder im einzelnen Korn nimmt mit steigender Stoßwellenmetamorphose zu.

b) Veränderungen der optischen Eigenschaften: In Gesteinen der Breccie, deren Quarze und Feldspäte bereits diaplektisch verglast sind, läßt sich eine deutliche Abnahme des Pleochroismus und der Doppelbrechung feststellen. In ein und demselben Gesteinsschliff konnten oft variierende Achsenwinkel beobachtet werden.

c) Umwandlung in andere Phasen: In Fragmenten, in denen Quarz und Feldspat als diaplektisches Glas vorliegen, ist der Biotit inhomogen und enthält viele opake Flecken (Abb. 6). Über ähnliche Beobachtungen berichtet DRESSLER (1970). Nach WONES und EUGSTER (1965) zerfällt ein eisenreicher Biotit bei Temperaturerhöhung über 600°C. Temperaturen dieser Größenordnung kommen in der Stufe II der Stoßwellenmetamorphose vor. Die Biotite, die Zerfallserscheinungen aufweisen, enthalten kaum oder gar keine Knickbänder.

4. Hornblende

In Gesteinsfragmenten der Stufen I und II der Stoßwellenmetamorphose enthalten die Hornblenden ein System dicht gescharter planarer Elemente, bevorzugt nach {110}, (100), (001) (Abb. 7). Seltener kommen feine Zwillingslamellen wahrscheinlich nach (001) vor (vgl. STÖFFLER 1970). Im Bereich der Stufe II läßt sich eine deutliche Abnahme des Pleochroismus und der Doppelbrechung, zum Teil verbunden mit Zersetzung der Hornblende, feststellen. Eine genauere Untersuchung dieser Deformationserscheinung steht noch aus.

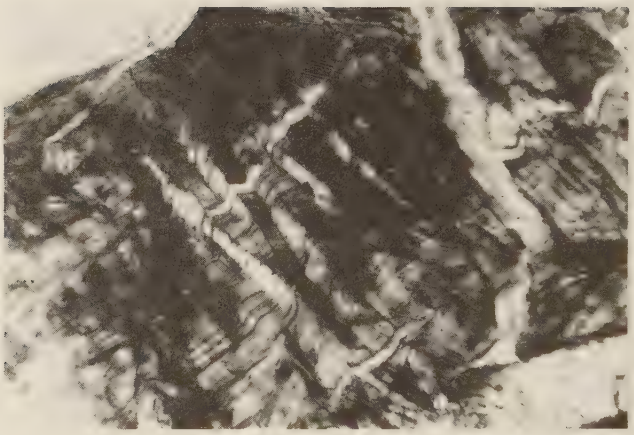


Abbildung 5: Knickbänder in Biotit aus einem Gneis-Einschluß (P 821) in der Breccie von Appetshofen.

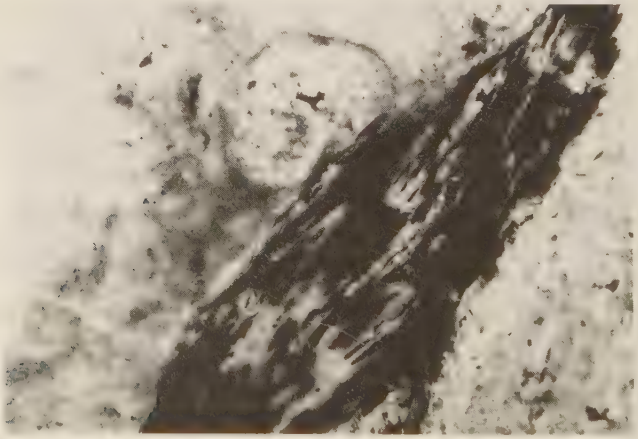


Abbildung 6: Umwandlung von Biotit der Stufe II der Stoßwellenmetamorphose aus einem Granit-Einschluß (P 837) in der Breccie von Maihingen-Klostermühle.

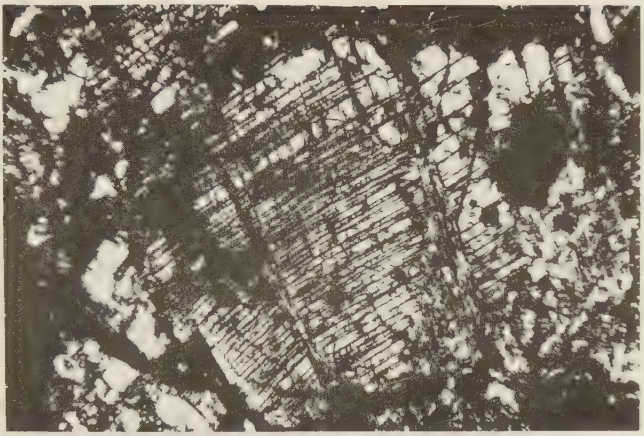


Abbildung 7: Hornblende mit planaren Deformationsstrukturen. Aus einem Amphibolit-Einschluß in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller (P 812).

5. Apatit

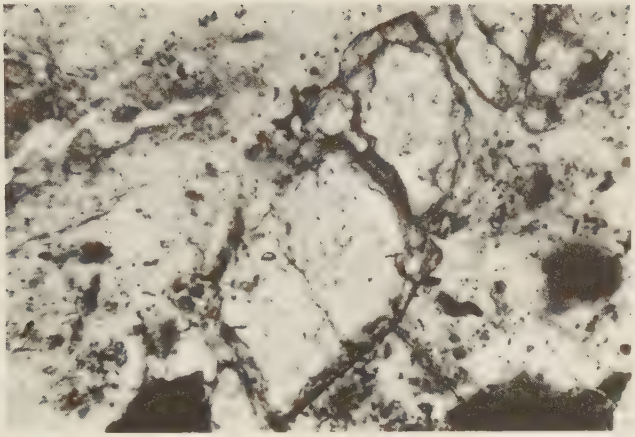
Apatit kommt in allen beschriebenen Gesteinen (Kapitel III) vor. Der Apatit erweist sich gegen Stoßwellen als recht widerstandsfähig. Im Bereich der Stufen I und II zeigen Apatite neben der normalen Spaltbarkeit nach (0001) Teilbarkeiten oder planare Elemente nach $(10\bar{1}1)$ und $(10\bar{1}0)$ (Abb. 8, 9).
In den polymikten kristallinen Breccien kommen Gesteine mit dem Beanspruchungsgrad der Stufe III sehr selten vor. In einer dieser Proben zeigen die Apatite partielle und randliche Aufschmelzungserscheinungen (Abb. 10 a, b).

6. Titanit

In den meisten Gesteinen der Breccien (überwiegend in Granodiorit, Titanofleckendiorit, Amphibolit, Granit und Biotit-Plagioklas-Gneis) kommt Titanit vor. Man kann früh und später gebildete Titanite unterscheiden. Die sekundären Titanite treten

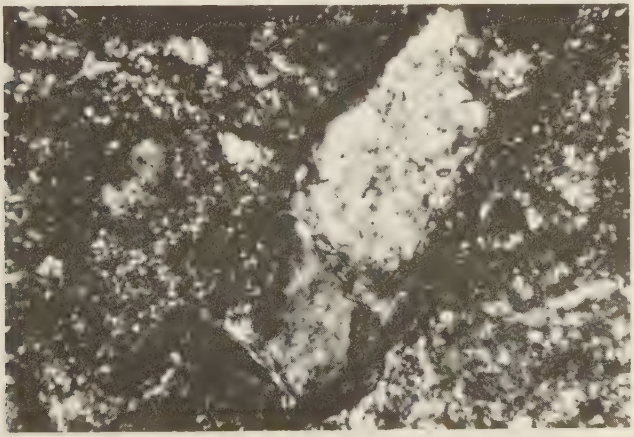
Abbildung 8: Apatit, Schnitt $\perp$c mit Deformationsstrukturen (Teilbarkeit) nach (1010) aus einem Amphibolit-Einschluß (P 803) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller.

Abbildung 9: Apatit, Schnitt $\parallel$c mit Deformationsstrukturen nach (0001) und (10$\bar{1}$0) aus einem Gneis-Einschluß (P 899) in der Breccie von Leopold-Meyers-Keller.



a) parallele Polarisatoren

Abbildung 10: Apatit mit randlicher Aufschmelzung aus einem Granit-Einschluß (P 839) in der Breccie von Maihingen-Klostermühle.



b) gekreuzte Polarisatoren

fast immer als linsen- oder insekteneiförmige Körner auf. Die meisten primären Titanite sind in Ilmenit umgewandelt. Im Bereich der Stufe I sind die Spaltbarkeiten nach (111), (110) häufig gut ausgeprägt. Außerdem kommt manchmal eine Teilbarkeit nach einer irrationalen Fläche vor, die etwa ‖(552) ist und welche nach TRÖGER (1967) durch Scher-Beanspruchung ausgelöst wird. In einem Plagioklas-Amphibolit (Stufe II) von Itzing zeigt der Titanit (Abb. 11) zusätzlich sehr feine, 1 - 2 µm breite planare Elemente. Sie liegen parallel der Zonen [010]. Derartige Deformationsstrukturen aus Titaniten normaler Gesteine sind nicht bekannt.

7. Granat

Von allen akzessorischen Mineralien in Gesteinen der Breccien kommen Granate am seltensten vor. Vor allem wurden sie in Biotit-Plagioklas- und Quarzit-Gneis gefunden. Der Granat erweist sich wegen seiner hohen Dichte als sehr widerstandsfähig gegen Stoßwellen. In Gesteinen der Stufe II kommen Spaltbarkeiten nach (110) und (211) vor (Abb. 12), die von Granaten normaler Gesteine nicht bekannt sind.

V. Stoßwellenmetamorphose der verschiedenen Gesteinsarten der Breccie

Auf Grund der im vorausgegangenen Kapitel beschriebenen Stoßwelleneffekte in Quarz und Feldspat, wurden in allen untersuchten Vorkommen der polymikten kristallinen Breccien die Gesteinsarten nach dem Klassifikationsschema von STÖFFLER (1969, 1971b) den verschiedenen Stufen der Stoßwellenmetamorphose zugeordnet. Die Häufigkeit bestimmter Metamorphosegrade innerhalb der verschiedenen Gesteinstypen ist in der Tab. 3 und Abb. 13 für 406 Gesteinsfragmente dargestellt.

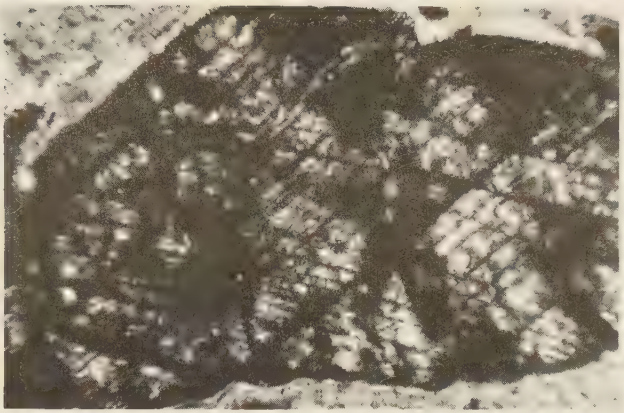


Abbildung 11: Titanit mit planaren Deformationsstrukturen aus einem Amphibolit-Einschluß (P 978) in der Breccie von Itzing.

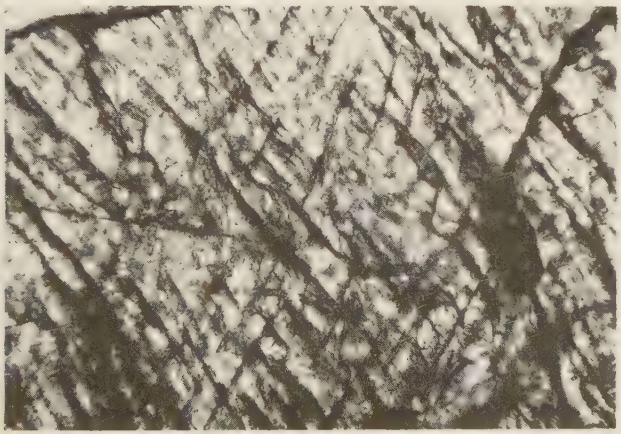


Abbildung 12: Granat mit Deformationsstrukturen nach (110) und (211) aus einem Gneis-Einschluß (P 943) in der Breccie von Lierheim.

Tabelle 3: Häufigkeit der Gesteinstypen verschiedener Metamorphosegrade der polymikten Breccie von verschiedenen Vorkommen

Leopold-Meyers-Keller

Gest.	%	Stufe 0	Stufe I	Stufe II
A	33	-	21 %	79 %
Aq	18	-	23 %	77 %
D	8	-	17 %	83 %
Dq	25	12 %	88 %	-
G	16	9 %	91 %	-
		∑3 %	48 %	49 %

Maihingen-Klostermühle

Gest.	%	Stufe 0	Stufe I	Stufe II	Stufe III
A	18	17 %	-	83 %	-
Aq	6	-	50 %	50 %	-
D	46	-	-	97 %	3 %
Dq	12	75 %	25 %	-	-
G	18	83 %	17 %	-	-
		∑27 %	10 %	61 %	2 %

Appetshofen + Lierheim

A	4	-	-	100 %
Aq	-	-	-	-
D	15	-	-	100 %
Dq	30	-	50 %	50 %
G	51	17 %	75 %	8 %
		∑8 %	53 %	39 %

Itzing

A	25	55 %	12 %	33 %
Aq	6	50 %	50 %	-
D	19	-	-	100 %
Dq	27	50 %	20 %	30 %
G	23	77 %	23 %	-
		∑48 %	18 %	34 %

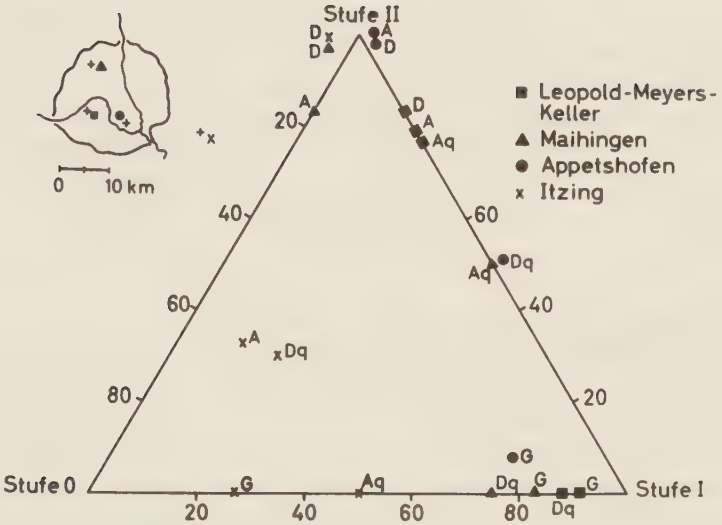


Abbildung 13: Häufigkeit der Gesteinstypen verschiedener Metamorphosegrade in den polymikten Breccien.

VI. Gangförmige Vorkommen kristalliner Breccien

Kristalline Breccien, die größere Kristallinschollen gangförmig durchsetzen, sind von verschiedenen Autoren aus dem Ries beschrieben worden (BRANCO 1903, NATHAN 1925, SCHRÖDER 1926, DEHM 1931, SCHRÖDER und DEHM 1950, ACKERMANN 1958, HÜTTNER 1958, DRESSLER 1967, HÜTTNER 1969). Sie wurden von BRANCO (1903) als "granitische Explosionsprodukte" bezeichnet und von verschiedenen Autoren als "nachriesische" Bildungen einer Explosionsphase aufgefaßt, die der Hauptphase der Riesexplosion nachfolgte. Petrographische Untersuchungen solcher Breccien

liegen bisher noch nicht vor. Viele der verschiedenen Vorkommen sind heute nicht mehr aufgeschlossen. Von den noch zugänglichen Vorkommen wurden die Aufschlüsse von Maihingen-Klostermühle, Sulzdorf und Lehberg näher untersucht. Es zeigte sich, daß die Gangbreccie von Maihingen-Klostermühle eine polymikte Kristallinbreccie mit stoßwellenbeanspruchtem Material ist, während die Breccien von Sulzdorf und Lehberg einem ganz anderen Typ angehören.

Bei Maihingen-Klostermühle (R 3609130, H 5422690) ist am Weg von der Klostermühle zur Langenmühle eine Gneisscholle über etwa 300 m aufgeschlossen. Diese Scholle wird von einem Gang durchsetzt, der mit einer polymikten kristallinen Breccie gefüllt ist. Die Zusammensetzung der Breccie ist in Tab. 1, die Stoßwellenbeanspruchung der Gesteinsfragmente in Tab. 3 verzeichnet. Die Breccie von Maihingen entspricht durchaus den anderen polymikten Kristallinbreccien. Die große Variationsbreite hinsichtlich der Gesteine und der Stoßwellenbeanspruchung ist nur durch intensive Durchmischung während des Transports zu erklären (vgl. Tab. 3 , Abb. 13). Der Gang von Maihingen dürfte am wahrscheinlichsten so entstanden sein, daß eine klaffende Spalte einer großen Gneisscholle von oben her durch Auswurfmaterial gefüllt wurde. Die aus dem Untergrund emporgehobene Gneisscholle hatte demnach ihre jetzige Position bereits eingenommen, als die durch die Luft ausgeworfene polymikte Breccie auf ihr landete und die offene Spalte füllte. Kippungs- und Senkungsbewegungen der Gneisscholle nach der Kraterbildung mögen die gefüllte Spalte später deformiert haben.

Am NE-Ausgang von Sulzdorf (R 4410900, H 5408100) kommt ein hellroter stark zertrümmerter mittelkörniger Granit vom Typ Lierheim vor. Er enthält dunkelrote sich verästelnde Gängchen (Abb. 14), die von DEHM (1931) und HÜTTNER (1969) als "Gänge mit feinkörnigen bunten kristallinen Breccien" beschrieben wurden.

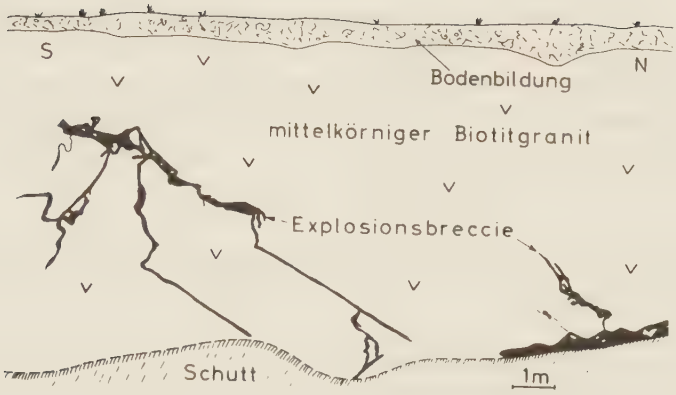


Abbildung 14: Gangförmige Breccien in der Granitscholle von Sulzdorf, Blatt Wemding 7130 nach DRESSLER (1969).

Dünnschliffe des Gangmaterials zeigen, daß dieses ausschließlich aus Gesteins- und Mineralfragmenten des Granits besteht. Die Schwermineralien der Gangfüllung (97 % Biotit, 2,8 % Opak, 0,2 % Apatit) sind qualitativ und quantitativ mit denen des Granits (95 % Biotit, 4,8 % Opak, 0,2 % Apatit) identisch. Die Quarze der Gangfüllung enthalten ebenso wie die des Granits schwache planare Elemente. Die Gänge bestehen daher aus zerriebenem Nebengestein und dürften als Reibungsbreccien zu deuten sein, die beim Auswurf der Granitscholle entstanden sind. Dafür spricht auch die in den Dünnschliffen deutlich erkennbare Abnahme der Korngröße der Gangfüllung von der Gangmitte zum Rand.

Ähnlicher Entstehung sind auch die im Aufschluß Lehberg-Süd (R 3606330, H 5420130) vorkommenden "Gänge", die einen grauen,

kleinkörnigen Biotit-Granit durchziehen. Die Leichtmineralien (23 % Quarz, 61 % Plagioklas, 16 % Orthoklas) sowie die Schwermineralien (100 % Biotit) der Gangfüllung entsprechen dem granitischen Nebengestein und dürften hier ebenso als Reibungsbreccien zu deuten sein.

VII. Mineralneubildung und -verdrängung in Gesteinen der Breccie

Die in Gesteinsfragmenten der Stufe II der Stoßwellenmetamorphose vorkommenden diaplektischen Feldspatgläser, in geringerem Umfang auch die diaplektischen Quarzgläser, sind zum Teil in ein feinkörniges Aggregat doppelbrechender Kriställchen umgewandelt, deren Lichtbrechung unter der der diaplektischen Plagioklasgläser liegt. Unter dem Mikroskop sehen diese Neubildungen wie Montmorillonit aus. Zur weiteren Identifizierung wurden Gesteinsfragmente mit solchen Neubildungen aus verschiedenen Aufschlüssen zerkleinert. Die durch Schlämmen im Atterbergzylinder aus diesen Gesteinen und aus den Grundmassen der Breccien von Appetshofen und Leopold-Meyers-Keller abgetrennten Fraktionen $< 2\,\mu$, welche im wesentlichen aus den Neubildungen bestanden, wurden röntgenographisch untersucht. Leider gelang es nicht, von diesem Material lufttrockene Texturpräparate herzustellen, da die Präparate beim Eintrocknen stets Risse bekamen und sich rollten. Dadurch wurde eine genauere Bestimmung der Tonmineralien erschwert. Die an Glycerinpräparaten gewonnenen Ergebnisse sind in Tab. 4 zusammengestellt. In allen Präparaten bis auf Nr. 813 konnte mit Sicherheit Montmorillonit als Hauptbestandteil identifiziert werden. Daneben kommt in mehreren Proben ein Mineral mit 10 Å Basisabstand vor. In den Präparaten 785a, 813, 821 und 839 ließ sich eine (060)-Interferenz bei 1,53 - 1,54 erkennen. Es mag sich hier also um Biotit handeln, der wohl aus den primären Gesteinen stammt. In den Proben 784, 786, 818, M_1 und M_2 war nur eine (060)-Interferenz bei 1,49

Tabelle 4: Mineralneubildung in Gesteinen der Breccie (s. Text)

Proben-Nr.	Gestein	Lokalität	Tonminerale
785a	Granodiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Glimmer
791	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
782	Biotit-Gneis	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
783	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
784	Biotit-Gneis	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
786	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
788	Plagioklas-Amphibolit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
807	Granit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
808	Biotit-Diorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont.
813	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Glimmer
818	Biotit-Quarzdiorit	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit
821	Biotit-Diorit	Appetshofen	Mont. + Glimmer
833	Biotit-Diorit	Maihingen	Mont.
837	Biotit-Quarzdiorit	Maihingen	Mont.
838	Biotit-Diorit	Maihingen	Mont.
839	Granit	Maihingen	Mont. + Glimmer
846	Plagioklas-Amphibolit	Maihingen	Mont.
M_1	Matrix	Appetshofen	Mont. + Illit + (Kaolinit)
M_2	Matrix	Leopold-Meyers-Keller	Mont. + Illit + (Kaolinit)

zu erkennen. Hier liegt also dioktaedrischer Glimmer vor. Ob es sich um selbständigen Illit oder um Wechsellagerungen mit Montmorillonit handelt, konnte nicht entschieden werden. Jedenfalls sind diese dioktaedrischen Glimmeranteile Neubildungen, da die primären Gesteine keinen Muskowit enthalten.

Von den aus den Gangfüllungen von Sulzdorf und Lehberg sowie aus den oberen, stark zersetzten Partien des Granits von Sulzdorf (s. Kap. VI) gewonnenen Tonfraktionen konnten Texturpräparate hergestellt werden, an denen halbquantitative Bestimmungen nach JOHNS, GEIM, BRADLY (1954) und LIPPMANN (1960) ausgeführt werden konnten. Die Ergebnisse finden sich in Tab. 5.

Tabelle 5

	Illit	Mont.	Illit-Mont. Wechsellagerung	Kaolinit
aus den Gängen (Sulzdorf)	21 %	8 %	70 %	-
aus den oberen stark zersetzten Partien (Sulzdorf)	66 %	-	26 %	8 %
aus den Gängen (Lehberg)	36 %	14 %	50 %	-

In beiden Gangfüllungen kommen neben Illit und Montmorillonit hauptsächlich Illit-Montmorillonit-Wechsellagerungen vor. Dagegen enthält der zersetzte Granit Illit, Wechsellagerungen und etwas Kaolinit. Kaolinit wurde außerdem auch in den Grundmassen der Breccien von Appetshofen und Leopold-Meyers-Keller gefunden (Tab. 4).

Die nicht in den primären Gesteinen vorkommenden Mineralien Montmorillonit, Illit, Kaolinit und die Wechsellagerungen

sind Neubildungen, die nach der Ablagerung der Breccien entstanden. Da verschiedene Autoren Zersetzungserscheinungen der kristallinen Auswurfmassen auf hydrothermale Wirkungen zurückgeführt haben (vgl. z.B. LÖFFLER 1912, WEBER 1941, ACKERMANN 1958), ist die Frage der Bildungsbedingungen dieser Mineralien zu prüfen.

Aus der Probe 788, einem Amphibolit von Leopold-Meyers-Keller, wurde der Montmorillonit mit der Mikrosonde analysiert. Die Ergebnisse sind in Tab. 6 verzeichnet.

Tabelle 6

	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	MgO	FeO	Na_2O	CaO	K_2O	OH^-
P_1	52,89	26,60	0,04	2,06	3,27	0,098	1,88	0,15	12
P_2	53,62	27,57	-	2,27	2,53	0,034	1,76	0,26	12

Aus den Analysen erhält man die folgenden Formeln (OH-Gehalte berechnet):

P_1: $(Si_{7,16}\ Al_{0,84})^{IV}\ [(Al_{3,47}\ Fe'''_{0,29}\ Mg_{0,23})]^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ Ca_{0,39}\ Mg_{0,27}\ Na_{0,02}\ K_{0,03}$

P_2: $(Si_{7,17}\ Al_{0,83})^{IV}\ [(Al_{3,51}\ Fe'''_{0,29}\ Mg_{0,20})]^{VI}\ O_{20}\ (OH)_4\ Ca_{0,25}\ Mg_{0,24}\ Na_{0,01}\ K_{0,08}$

Es zeigt sich, daß der Montmorillonit keinen besonders hohen Mg-Gehalt hat, der auf eine hydrothermale Stoffzufuhr hinweisen würde. Die geringen Mg- und Fe-Gehalte lassen sich aus der Hornblende und dem Biotit des Gesteins ableiten. Häufig durchsetzen feine Montmorillonitadern zersetzte Biotite und Hornblenden.

Es ist demnach anzunehmen, daß Montmorillonit, Montmorillonit-Illit-Wechsellagerungen und Illit aus den Komponenten der Breccien, besonders aus den diaplektischen Gläsern, als Verwitterungsbildungen entstanden. Es mag sein, daß die unmittelbar nach der Ablagerung in den Breccien herrschenden hohen Temperaturen, die bei der Ablagerung einige hundert Grad erreicht haben mögen, die Bildung dieser Mineralien gefördert haben.

Auch der Kaolinit ist als eine Verwitterungsbildung aufzufassen. Er wurde niemals in den Gesteinsfragmenten, sondern nur in der Grundmasse von Breccien und in den stark zersetzten Partien des Granits von Sulzdorf gefunden. Es ist bekannt, daß Mineralien der Kaolinitgruppe dann entstehen, wenn größere Mengen von Niederschlagswässern bei schwach saurer Reaktion die Verwitterungszone durchströmen, während Montmorillonit bei neutraler oder alkalischer Reaktion und höherer Konzentration an Kationen gebildet wird (ENGELHARDT 1971a). Offenbar waren in den Breccien, insbesondere im Inneren der Gesteinsfragmente zufolge der höheren Löslichkeit der stoßwellenbeanspruchten Mineralien und der behinderten Durchströmung mit Niederschlagswässern, pH und Kationenkonzentration so hoch, daß Montmorillonit entstand. Kaolinit bildete sich dort, wo eine stärkere Durchströmung mit Niederschlagswässern möglich war, wie insbesondere in den oberen Partien des Sulzdorfer Granits.

In der Gneisscholle von Maihingen-Klostermühle, welche die oben beschriebene Spalte mit polykristalliner Breccie enthält, wurde ca. 5 m von dieser Spalte entfernt eine besondere Zersetzung festgestellt. WEISKIRCHNER (1966) fand hier Vermiculit, Anthophyllit, Saponit und ein Wechsellagerungsmineral, das dem Corrensit nahezustehen schien, als Neubildungen, die auf eine Mg-Zufuhr zurückgeführt wurden. Eigene Untersuchungen ergaben das Vorkommen von Talk, Anthophyllit,

Montmorillonit und Muskowit in dem grünlichen, stark zersetzten Gneis, der hier viele Hornblendelagen und Knollen enthält. Unter dem Mikroskop konnte beobachtet werden, daß der Anthophyllit von Talk und Montmorillonit verdrängt wird. Ähnliche Umwandlungserscheinungen wurden von MATHES (1951, 1954) aus der Oberpfalz und dem Spessart beschrieben. Auch hier dürfte eine Mg-Zufuhr nicht notwendig sein. Der Anthophyllit gehört dem primären Gestein an, Talk, Montmorillonit und die von WEISKIRCHNER beobachteten Mineralien dürften sich während der Verwitterung aus Anthophyllit gebildet haben.

VIII. Diskussion

Der Anteil der Deckgebirgssedimente in den polymikten kristallinen Breccien ist sehr gering. Meist handelt es sich dabei um Tonstücke aus dem Keuper. Bei homogener Durchmischung der aus dem Krater ausgeworfenen Massen wäre eine mehr oder weniger kontinuierliche Mischungsreihe zwischen Deckgebirgs- (Sediment) und Grundgebirgstrümmermassen (Kristallin) in den Breccien zu erwarten. Das würde einen kontinuierlichen Übergang von kristalliner Breccie zu Bunter Breccie bedeuten. Die polymikten kristallinen Breccien enthalten jedoch maximal 1 % (Stückzahl) kleine Stücke von Deckgebirgssedimenten, während die Bunte Breccie nur bis zu ca. 10 % Kristallin führt. Leider liegen genauere Daten über die Verbreitung, die Häufigkeit und die Gesteinsarten der Grundgebirgseinschlüsse in der Bunten Breccie noch nicht vor, so daß die Beziehungen zwischen kristalliner und Bunter Breccie und die Ursache der auffallenden Mischungslücke noch nicht diskutiert werden kann. Sicher ist, daß die kristallinen Breccien aus einem tieferen Niveau stammen als die Bunte Breccie.

Ein wichtiges Ergebnis der petrographischen Analyse ist die Tatsache, daß die verschiedenen polymikten kristallinen Breccien keineswegs die gleiche Zusammensetzung aufweisen. Die Amphibolite kommen in sehr verschiedenen Mengen vor (vgl. Tab. 1 , Abb. 2). Sie sind besonders häufig in Leopold-Meyers-Keller und treten in Appetshofen sehr zurück. Das Vorkommen Itzing enthält Amphibolite, Gneise und Granit etwa zu gleichen Teilen (vgl. Tab. 1). Auf Grund der Kartierungen von DRESSLER et al. (1969) und der vorliegenden Ergebnisse kommen in der Regel die Amphibolite in der Südhälfte des Ries besonders häufig vor. Vermutlich spiegeln sich in der variablen Zusammensetzung lokale Unterschiede im Aufbau des kristallinen Grundgebirges wider. Möglicherweise hatte auch das Relief der Oberfläche des Grundgebirges einen Einfluß auf die Entstehung und Zusammensetzung einzelner Vorkommen polymikter Breccien. Ein starkes Relief stellt der Ausbreitung der Stoßfront eine erhöhte Zahl von Dichtediskontinuitäten entgegen, welche bei geneigtem oder senkrechtem Winkel zur Stoßfront zu starken Scherbewegungen führen (vgl. auch RINEHART 1968).
Die Granit-Varietäten gehören wahrscheinlich einem einzigen plutonischen Körper an (vgl. Kap. III 5.). Sie sind zusammen mit den Gneisen die vorherrschenden Bestandteile der Breccien.

Die Gesteine der polymikten kristallinen Breccien sind sehr unterschiedlich von der Stoßwellenmetamorphose erfaßt worden. So gehören in allen untersuchten Breccien die Amphibolite überwiegend den Stufen II und I (s. Tab. 2, 3) an, während die Granite und Gneise hauptsächlich Beanspruchungsgrade der Stufen I und 0 aufweisen.
Da der in einem Gestein bei konstanter Partikelgeschwindigkeit erreichte Spitzendruck von dessen Stoßwellenimpedanz (Produkt aus Dichte und Stoßwellengeschwindigkeit) abhängt (vgl. Abb. 15), werden Amphibolite beim Durchlaufen einer Stoßfront auf Grund ihrer höheren Dichte im Mittel höhere Stoßwellendrucke erfahren als Granite. Werden räumlich

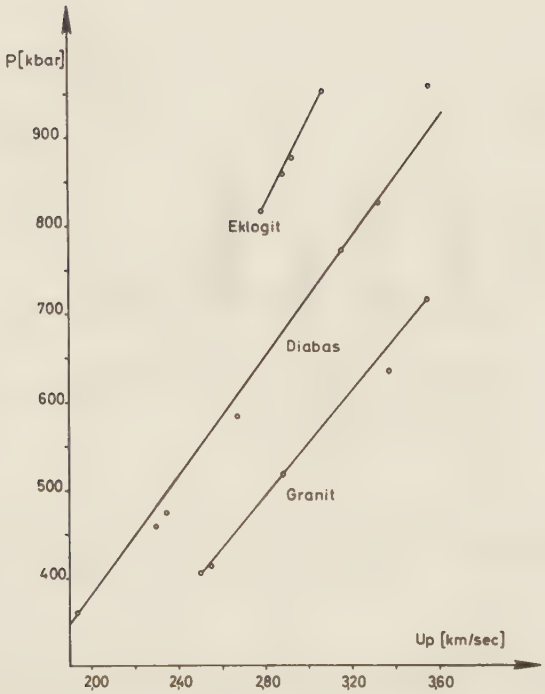


Abbildung 15: Beziehung zwischen Partikelgeschwindigkeit (Up) und Stoßwellenspitzendruck (P) für Gesteine verschiedener Dichte (Granit: 2,63 , Diabas: 2,98 , Eklogit: 3,40) nach CLARK (1966).

benachbarte Granit- und Amphibolitgesteine von einer Stoßwelle bestimmter Partikelgeschwindigkeit betroffen, so können beispielsweise die Feldspäte des Amphibolits die für die Stufe II der Stoßwellenmetamorphose typische Isotopisierung erfahren, während in den Feldspäten des Granit nur planare Deformationsstrukturen entstehen (Stufe I). Daher dürften Amphibolite der Stufen I und II aus Zonen stammen, die vom Einschlagszentrum weiter entfernt sind als die Zonen, welche Granite der gleichen Beanspruchungsstufen geliefert haben. Wegen der Schwierigkeit, die Spitzendrucke in Gesteinen unterschiedlicher Dichte aber gleicher Metamorphosestufe abzuschätzen, wurden zum Vergleich der einzelnen Vorkommen unter-

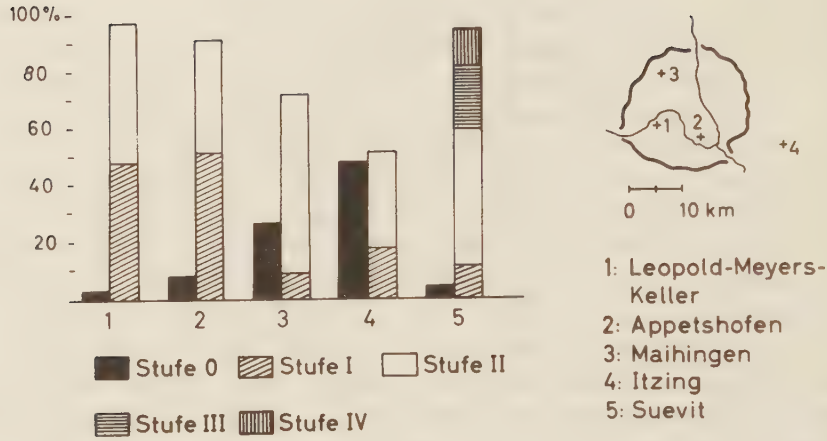


Abbildung 16: Häufigkeit der Gesteinsfragmente verschiedener Metamorphosegrade in polymikten kristallinen Breccien und im Suevit.

einander zunächst nur nicht beanspruchte (Stufe 0) und beanspruchte Gesteine (Stufen I bis IV) unterschieden (vgl. Tab. 3) (vgl. auch ENGELHARDT 1971b). Die Ergebnisse sind in Abb. 16 zusammengefaßt. Zum Vergleich sind die durchschnittlichen Anteile der Stufen der Stoßwellenmetamorphose im Suevit dargestellt (ENGELHARDT et al. 1969). Abb. 16 zeigt, daß die Häufigkeit der durch Stoßwellen beanspruchten Gesteine mit der Entfernung vom Rieszentrum abnimmt. Daraus ist zu folgern, daß die in größerem Abstand von der Riesmitte abgelagerten Breccien aus Zonen stammen, die vom Einschlagszentrum weiter entfernt waren als die näher der Mitte niedergegangenen Breccien.

Herrn Professor Dr. W. von Engelhardt, meinem verehrten Lehrer, danke ich sehr für die Überlassung des interessanten Themas und seine wertvolle Unterstützung und Beratung während dieser Arbeit.

Herrn Dozent Dr. D. Stöffler bin ich für viele Ratschläge und Hinweise zu Dank verpflichtet.

Ferner möchte ich allen wissenschaftlichen und technischen Mitarbeitern des Tübinger Mineralogischen Instituts für ihre Hilfsbereitschaft danken.

Dem Bundesministerium für wissenschaftliche Forschung sei für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit gedankt.

IX. Literaturverzeichnis

ACKERMANN, W.: Geologisch-petrographische Untersuchungen im Ries. - Geol. Jb. 75, S.135-182, Hannover 1958.

BENTZ, A.: Geologische Beobachtungen am westlichen Riesrand. - Z. deutsch. geol. Ges. 79, S.405-437, 1927.

BRANCO, W.: Das vulcanische Vorries und seine Beziehungen zum vulcanischen Riese bei Nördlingen. - Abh. preuß. Akad. Wiss. 36, S.748-756, Berlin 1903.

- Die Gries-Breccien des Vorrieses als von Spalten unabhängige, früheste Stadien embryonaler Vulcanbildung. - Sitz.-Ber. preuß. Akad. Wiss. 36, S.1-132, Berlin 1903.

CLARK, S.P.: Handbook of physical constants. - Geological Society of America, Mem. 97, 1966.

DEHM, R.: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Monheim. - N. Jb. Miner. etc., Beil.-Bd. 67, B, S.199-256, Stuttgart 1931.

DRESSLER, B.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im östlichen Ries und Vorries. - Diplom-Arb. München 1967.

- Die Beanspruchung der präkambrischen Gesteine in der Kryptoexplosionsstruktur von Manicouagan in der Provinz Quebec, Canada. - Dissertation München 1970.

ENGELHARDT, W.v.: Neue Beobachtungen im Nördlinger Ries. - Geol. Rdsch. 57, S.165-188, Stuttgart 1967.

- Stages of Shock Metamorphism in the Crystalline Rocks of the Ries Basin, Germany. - Proceedings of the Conference on Shock Metamorphism of Natural Materials at Greenbelt, Md., April 14-16, 1966, in: B. M. FRENCH and N. M. SHORT (eds.): Shock Metamorphism of Natural Materials, S.159-168, Baltimore (Mono Book Corp.) 1968.

ENGELHARDT, W.v. und W. BERTSCH: Shock Induced Planar Deformation Structures in Quartz from the Ries Crater, Germany. - Contr. Mineral. and Petrol 20, S.203-234, 1969.

ENGELHARDT, W.v. et al.: Petrologische Untersuchungen im Ries. - Geologica Bavarica 61, S.229-295, München 1969.

ENGELHARDT, W.v.: Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen. - Sediment-Petrologie, Teil III. - Schweizerbart, Stuttgart 1971a (im Druck).

- Detrital impact formations. - J. Geophys. Res., 1971b (im Druck).

GRAUP, G.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im Ries. - Diplom-Arb. München 1968.

- Kristalline Schollen im Nördlinger Ries. - Dissertation Tübingen (noch nicht abgeschlossen).

HÖRZ, F. and T.J. AHRENS: Deformation of experimentally shocked biotite. - American Journal of Science, Vol. 267, P.1213-1229, December 1969.

HÜTTNER, R.: Geologische Untersuchungen im SW-Vorries auf Blatt Neresheim und Wittislingen. - Diss. Tübingen, 347 S., Tübingen 1958.

- Bunte Trümmermassen und Suevit. - Geologica Bavarica 61, S.142-200, München 1969.

JOHNS, W.D. et al.: Quantitative estimations of clay minerals by diffraction methods. - J. Sediment. Petrol. 24, S.242-251, 1954.

LÖFFLER, R.: Die Zusammensetzung des Grundgebirges im Ries. - Jh. Ver. Vaterl. Naturk. Württ. 68, S.107-154, 1912.

LIPPMANN, F.: Röntgendiagramme von Tonmineralien mit unregelmäßiger Wechsellagerung Glimmer - Montmorillonit. - Fortschr. Mineral. 38, S.176-182, 1960.

MATZKE, K.: Petrographische Untersuchungen des kristallinen Grundgebirges im westlichen Ries und Vorries. - Diplom-Arb. München 1967.

MATTHES, S.: Die kontaktmetamorphe Überprägung basischer kristalliner Schiefer des Steinwald-Granits nördlich von Erbenhof in der bayerischen Oberpfalz. - N. Jb. Mineral., Beil. B, 82, S.1-92, 1951.

- Die Paragneise im mittleren Vorspessart und ihre Metamorphose. - Abh. hess. L. Amt. Bodenforsch. 8, S.1-86, Wiesbaden 1954.

MATTHES, S. und H. KRÄMER: Die Amphibolite und Hornblendegneise im mittleren kristallinen Vor-Spessart und ihre petrogenetische Stellung. - N. Jb. Mineral. Abh., 88-2, S.225-272, 1955.

NATHAN, H.: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Möttingen. - N. Jb. Mineral usw., 53, Beil. Bd., Abt. B, S.31-97, Stuttgart 1925.

OBERDORFER, R.: Die vulkanischen Tuffe des Rieses bei Nördlingen. - Jahresheft d. Vereins f. Vaterl. Naturk. in Württ. 1905.

REICH, H. und W. HORRIX: Geophysikalische Untersuchungen im Ries und Vorries und deren geologische Deutung. - Beih. geol. Jb. 19, 119 S., Hannover 1955.

RINEHART, J.S.: Intense destructive stresses resulting from stress wave interactions, in Shock metamorphism of natural materials, edited by B.M. FRENCH and N.M. SHORT, p. 31, Mono Book Co., Baltimore 1968.

SCHNEIDER, H.: Deformation und Umwandlung von Biotiten aus Gesteinen des Nördlinger Ries durch Stoßwellenmetamorphose. - Dissertation Tübingen 1971 (noch nicht abgeschlossen).

SCHNEIDER, W.: Petrologische Untersuchungen der Bunten Breccie im Nördlinger Ries. - Dissertation Tübingen, 73 S., Tübingen 1970.

SCHRÖDER, J.: Ausflug nach Klein-Sorheim-Groß-Sorheim-Bock-Harburg Schloßberg-Harburg. - Jber. Mitt. Obrrh. Geol. Ver., N.F., 14, S.1-10, Stuttgart 1926.

SCHRÖDER, J. und R. DEHM: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Harburg. - Abh. Naturwiss. Ver. Schwaben in Augsburg 5, 147 S., Augsburg 1950.

STÖFFLER, D.: Zones of impact metamorphism in the crystalline rocks of the Nördlinger Ries Crater. - Contr. Mineral. Petrol. 12, S.15-24, 1966.

- Stoßwellenmetamorphose, in W. von ENGELHARDT, D. STÖFFLER und W. SCHNEIDER, Petrologische Untersuchungen im Ries. - Geologica Bavarica 61, S.232-252, 1969.
- Shock effects in rock-forming minerals of terrestrial, lunar and meteoritic origin. Habilitationsschrift, 54 S., Tübingen 1970.
- Coesite and Stishovite in shocked crystalline rocks. - J. Geophys. Res., 1971a (im Druck).
- Progressive metamorphism and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact crater. - J. Geophys. Res., 1971b (im Druck).

STRECKEISEN, A.L.: Classification and nomenclature of igneous rocks. - N. Jb. Miner. Abh. 107, S.144-240, Stuttgart 1967.

TRÖGER, W.E.: Optische Bestimmungen der gesteinsbildenden Minerale. - Teil 2, 526 S., 1967.

WEBER, E.: Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding. - Abh. Naturk. und Tiergarten-Ver. Schwaben, 3, Augsburg 1941.

WEISKIRCHNER, W.: Vorläufiges Ergebnis der Untersuchung der granitischen Explosionsprodukte des Nördlinger Rieses. - Fortschr. Miner. 44, 1, Stuttgart 1967.

WONES, D.R. and H.P. EUGSTER: Stability of Biotite: Experiment, theory and application. - Am. Min. 50, p. 1228-1272, 1965.

L e b e n s l a u f

Am 11. Juli 1937 wurde ich als Sohn des Staatsbeamten Khodayar Abadian und seiner Ehefrau Chirin, geb. Anovchiravani, in Kerman/Iran geboren. Von 1944 bis 1950 besuchte ich die Volksschule, ab 1950 die Iranschahr-Oberschule, an der ich im September 1956 die Reifeprüfung des ersten Abiturs ablegte und besuchte anschließend die sechst Klasse an der Pahlavi-Oberschule im naturwissenschaftlichen Zweig. Die Reifeprüfung dieser Klasse (2. Abitur) bestand ich im Juni 1957. Danach machte ich eine neunmonatige Studienreise durch den Iran.

Um eine gründliche Ausbildung zu erhalten beschloß ich, in Deutschland eine Hochschule zu besuchen. Im August 1958 kam ich nach Deutschland. Von Oktober 1958 bis Oktober 1959 war ich bei verschiedenen Industriebetrieben beschäftigt, um Geld für das Studium zu verdienen.

Im Wintersemester 1959/60 begann ich mit dem Studium der Mineralogie an der Universität Tübingen. Im Juli 1964 legte ich die Diplom-Vorprüfung in Mineralogie ab.

Unter Anleitung von Herrn Professor Dr. W. von Engelhardt begann ich im November 1964 meine Zulassungsarbeit über das Thema "Geochemische und röntgenographische Untersuchungen an Stromatolithen-Kalke aus Sala/Schweden". Im März 1965 begann ich meine Diplomarbeit über das Thema "Untersuchungen zur Klärung der Bindungsart des Schwefels in einem Buntsandsteinprofil". Im Oktober 1967 legte ich die Diplom-Hauptprüfung in Mineralogie ab. Seit Juli 1968 arbeite ich unter Anleitung von Herrn Professor Dr. W. von Engelhardt am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Tübingen an meiner Dissertation über das Thema "Petrographie, Stoßwellenmetamorphose und Entstehung polymikter kristalliner Breccien im Nördlinger Ries", die ich im November 1970 abgeschlossen habe.

Seit März 1971 bin ich mit Frau Ingrid Abadian, geb. Glas, verheiratet.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

in Mineralogie: Amstutz, Dachs, v.Engelhardt, Füchtbauer, Haussühl, G.Müller, Weiskirchner,

in Geologie: Einsele, Ernst, Gross, Hiller, Hölder, Lodemann, Schindewolf, Schönenberg, Wagner, Westphal,

in Chemie: Bues, Mauser, E.Müller, Kortüm, Rüdorff.